

**STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI PADA ENDAPAN EPITERMAL SULFIDASI
RENDAH BERDASARKAN HASIL PEMETAAN GEOLOGI DAN PENGEBORAN RC
DI PIT X PT. TAMBANG TONDANO NUSAJAYA SULAWESI UTARA**

SKRIPSI



**ASWAN
D621 15 303**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR
2020**

HALAMAN PENGESAHAN



ASWAN

NIM. D62115303

**STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI PADA ENDAPAN EPITERMAL
SULFIDASI RENDAH BERDASARKAN HASIL PEMETAAN GEOLOGI
DAN PENGEBORAN RC DI PIT X PT. TAMBANG TONDANO
NUSAJAYA SULAWESI UTARA**

Diajukan sebagai salah syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S-1) pada
Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin
Disetujui di Makassar, 19 November 2020

Pembimbing I

Dr. Ir. Irzal Nur, MT.
NIP. 19660409 199703 1 002

Pembimbing II

Asran Ilyas, ST. MT. Ph.D.
NIP. 19730314 200012 1 001

Mengetahui,

Sekretaris Departemen Teknik Pertambangan

Dr. Aryanti Virianti Anas, S.T., M.T.
NIP. 197010052008012026

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

nama : Aswan

NIM : D62115303

departemen / program studi : Teknik Pertambangan

dengan ini menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang berjudul,

STUDI ALTERASI DAN MINERALISASI ENDAPAN EPITERMAL SULFIDASI RENDAH BERDASARKAN HASIL PEMETAAN GEOLOGI DAN PENGEBORAN RC DI PITX PT. TAMBANG TONDANO NUSAJAYA

adalah karya ilmiah saya sendiri dan sependek pengetahuan saya di dalam naskah skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari ternyata di dalam naskah ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakkan, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut dan diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU Nomor 20 Tahun 2003, Pasal 25 Ayat (2) dan Pasal 70).

Makassar, 29 November 2020

Yang membuat pernyataan



Aswan

ABSTRAK

PT. Tambang Tondano Nusajaya (PT. TTN) merupakan perusahaan tambang emas epitermal *low sulphidation* yang berada di Kecamatan Likupang Timur, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara, Indonesia. *Pit* X PT. TTN merupakan salah satu lokasi tambang emas PT. TTN yang telah menghasilkan emas bagi perusahaan. *Pit* ini telah ditambang dengan metode penambangan *open pit*, sehingga batuan bawah permukaan telah tersingkap di area dinding maupun lantai *pit*. Beberapa aspek yang belum dilakukan saat ini di antaranya yaitu mengidentifikasi secara lebih detail himpunan mineral alterasi hidrotermal, membuat peta zonasi alterasi hidrotermal dan paragenesis mineral bijih, khususnya terkait mineralisasi yang terdapat di *pit* X PT. TTN. Penelitian ini merupakan studi yang dilakukan untuk mengidentifikasi penyebaran litologi, himpunan mineral dan zonasi alterasi hidrotermal, estimasi temperatur pembentukan mineralisasi dan pH fluida hidrotermal, himpunan dan paragenesis mineral bijih, serta membuat peta zonasi alterasi dan mineralisasi hidrotermal. Analisis yang digunakan dalam penelitian ini meliputi analisis petrografi, mineragrafi, *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Analytical Spectral Device* (ASD). Hasil analisis memperlihatkan himpunan mineral alterasi yang terbentuk terdiri atas klorit, epidot, smektit (montmorillonit), serisit, muskovit, illit, kuarsa, dan kalsit, dengan zona alterasi hidrotermal dari luar ke dalam adalah zona propilitik (klorit – epidot – kalsit ± smektit ± serisit ± kuarsa) dan zona argillik (serisit – smektit – kuarsa ± klorit ± epidot). Mineralisasi di lokasi penelitian terbentuk pada kisaran temperatur sekitar 200°C-320°C dengan fluida hidrotermal yang membentuknya ber-pH netral. Himpunan mineral bijih yang terbentuk terdiri atas dua jenis yaitu mineral bijih hipogen yang terdiri dari sfalerit, kalkopirit, arsenopirit, galena, dan pirit, serta mineral bijih supergen yaitu kovelit dengan urutan pembentukan dari yang pertama sampai yang terakhir yaitu sfalerit, kalkopirit, arsenopirit, galena, pirit, dan kovelit. Tipe genetik mineralisasi di lokasi penelitian diinterpretasi sebagai mineralisasi tipe epitermal sulfidasi rendah.

Kata Kunci: Alterasi, epitermal, mineralisasi, mineralogi bijih, PT. TTN.

ABSTRACT

PT. Tambang Tondano Nusajaya (PT. TTN) is a low sulphidation epithermal gold mining company located in East Likupang District, North Minahasa Regency, North Sulawesi Province, Indonesia. Pit X PT. TTN is one of the PT. TTN's gold mining locations that has produced gold for the company. This pit has been mined using the open pit mining method, therefore the subsurface rock has been exposed in the wall and pit floor area. Several aspects that have not been carried out at this time including identifying in more detail the hydrothermal alteration mineral assemblage, making hydrothermal alteration zoning maps and ore mineral paragenesis, particularly related to mineralization in pit X of PT. TTN. This research is a study conducted to identifying the distribution of lithology, mineral assemblages and hydrothermal alteration zoning, estimation of mineralization formation temperature and hydrothermal fluid pH, ore mineral assemblage and paragenesis, as well as to create alteration zoning maps and hydrothermal mineralization. The analysis used in this study including petrographic analysis, mineragraphic analysis, X-Ray Diffraction (XRD), and Analytical Spectral Device (ASD) analysis. The results of the analysis showed that the alteration mineral assemblage formed consisted of chlorite, epidote, smectite (montmorillonite), sericite, muscovite, illite, quartz, and calcite, with the hydrothermal alteration zone from distal to proximal is propylitic zone (chlorite - epidote - calcite ± smectite ± sericite ± quartz) and argillic zone (sericite - smectite - quartz ± chlorite ± epidote). Mineralization at the research area is formed in a temperature range of about 200°C-320°C with neutral hydrothermal fluids pH. The ore mineral assemblage that is formed consists of two types, hypogene ore minerals consisted of sphalerite, chalcopyrite, arsenopyrite, galena, and pyrite and supergene ore mineral is covellite with the order of formation from early to late stage are sphalerite, chalcopyrite, arsenopyrite, galena, pyrite, and covellite. Mineralization type at the research area interpreted as low-sulphidation epithermal.

Keyword: *Alteration, epithermal, mineralization, ore mineralogy, PT. TTN.*

KATA PENGANTAR

Untaian rasa syukur ke hadirat Allah Swt., yang telah memberikan limpahan rahmat-Nya, sehingga skripsi yang berjudul "Studi Alterasi dan Mineralisasi pada Endapan Epitermal Sulfidasi Rendah Berdasarkan Hasil Pemetaan Geologi dan Pengeboran RC di *Pit X* PT. Tambang Tondano Nusajaya Sulawesi Utara" ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya dengan semangat, doa, dan perjuangan tanpa lelah. Salawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad saw., keluarga, dan para sahabatnya.

Penulis menyadari bahwa sebuah penulisan skripsi memang bukanlah pekerjaan mudah, tetapi sebuah perjuangan tanpa lelah yang menuntut keseriusan, kejelian pikiran, dan menyita waktu yang cukup banyak, serta tak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah memberikan motivasi, pengarahan, bimbingan, saran, dan bantuan, baik moral, materiel, maupun spiritual kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih banyak kepada:

1. Bapak Agung Praptono selaku KTT PT. TTN.
2. Bapak Sejati Awang Wibowo selaku *Geology Superintendent* PT. MSM.
3. Bapak Tody Susanto selaku *Geology Production Superintendent* PT. TTN.
4. Bapak Wendhi Septiadi selaku *mine geologist* dan pembimbing penulis selama menjalankan kegiatan penelitian Tugas Akhir di PT. TTN.
5. Bapak Wisnu Astaman, Bapak Agustinus Sosang, Ibu Natalia A. Rombe Dendo, Ibu Rosalindungan Maria Sinaga, Bapak Ahsan Hidayat, Ibu Friska Ayunda Putri, Bapak Lodih Basari, Bapak Singgih Mahardi, Bapak Bima Susantika Perkasa

Pribadi selaku *mine geologist* yang telah banyak membantu penulis dalam menjalankan kegiatan Tugas Akhir di PT. TTN.

6. Bapak Dr. Eng. Purwanto, ST. MT., selaku Ketua Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin.
7. Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, MT., selaku Kepala Laboratorium Eksplorasi Mineral Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin sekaligus pembimbing I yang telah memberikan banyak masukan dan saran kepada penulis.
8. Bapak Asran Ilyas, ST. MT. Ph.D., selaku pembimbing II atas bimbingan dan saran-saran yang telah diberikan selama menyusun laporan Tugas Akhir ini
9. Kedua orang tua tercinta Bapak La Saeta dan Ibu Rosna, saudara (Risna, S.Si. M.Si., Alman, S.Si. M.Si., Asmaun, S.Pd), serta seluruh keluarga penulis yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, dan doa kepada penulis.
10. Teman-teman seperjuangan STABILITY 2015 yang turut memberikan dukungan dan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan studinya yang namanya tidak mampu penulis sebutkan satu per satu.
11. Rekan-rekan kerja sekaligus sahabat-sahabatku, JFW. Terima kasih telah menjadi ruang berbagi suka, duka, dan memberi banyak warna dalam kehidupan penulis. Semoga persahabatan kita tetap terjaga hingga tua nanti.
12. Teman baik saya A. Nur Rahmah Nurmy Attahmid yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan dan ketidaksempurnaan. Namun, dalam penyusunannya, penulis telah melakukan yang terbaik. Untuk itu, penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran yang membangun guna menyempurnakan isi dari skripsi ini sehingga dapat

bermanfaat bagi penulis khususnya, serta pembaca pada umumnya. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi seluruh pembacanya.

Makassar, 19 November 2020

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Tahapan Penelitian	4
1.6 Lokasi Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Geologi Regional.....	7
2.2 Geologi Lokal.....	12
2.3 Endapan Epitermal.....	14
2.4 Alterasi Hidrotermal	16
BAB III METODE PENELITIAN	22
3.1 Studi Literatur	22
3.2 Pengambilan Sampel dan Data Lapangan	22
3.3 Preparasi Sampel.....	24

3.4	Analisis Laboratorium	27
3.5	Pengolahan Data	31
BAB IV	ALTERASI DAN MINERALISASI <i>PITX</i> PT. TTN	34
4.1	<i>Host Rock</i> Lokasi Penelitian.....	34
4.2	Alterasi Hidrotermal	35
4.3	Mineralisasi dan Paragenesis Mineral Bijih	66
4.4	Tipe Genetik Mineralisasi	72
BAB V	PENUTUP	73
5.1	Kesimpulan	73
5.2	Saran	74

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1	Peta tunjuk lokasi penelitian 6
2.1	Peta Geologi Regional daerah penelitian (Sumber: Peta Geologi Lembar Manado, Sulawesi Utara, Sekala 1:250.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung) 11
2.2	Kolom Stratigrafi Regional daerah penelitian (Sumber: Peta Geologi Lembar Manado, Sulawesi Utara, Skala 1:250.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung) 11
2.3	Peta Geologi area Toka Tindung yang memperlihatkan prospek tiap lokasi (van Leuwen, 2011) 13
2.4	Kolom stratigrafi daerah Batupangah dan Toka Tindung (van Leeuwen, 2011)..... 13
2.5	Skema pembentukan endapan porfiri, epitermal sulfidasi tinggi dan epitermal sulfidasi rendah (Hedenquist <i>et al.</i> , 1996) 14
2.6	(A) Hubungan antara temperatur stabilitas mineral hidrotermal dengan pH. (B) Legenda yang digunakan. (C) Distribusi skematik alterasi hidrotermal yang berasosiasi dengan endapan epitermal LS dan HS (Hedenquist et al., 1996)..... 19
3.1	(A) Pengambilan data <i>strike-dip</i> . (B) Pengambilan sampel 23
3.2	Kegiatan preparasi sampel ASD: (A) Pengeringan sampel <i>mapping</i> . (B) Pengeringan sampel RC <i>drilling</i> 24
3.3	(A) Sayatan tipis. (B) Sayatan poles 25
3.4	Proses peremukkan sampel bongkah menjadi berukuran $\leq 0-10\text{mm}$ menggunakan alat <i>jaw crusher</i> 25
3.5	Proses peremukkan menggunakan <i>double roll crusher</i> untuk memperoleh ukuran butir yang lebih halus 26
3.6	Proses penggerusan sampel hingga berukuran 200 mesh secara manual menggunakan mortar 26
3.7	(A) Proses pen-tera-an sampel RC <i>drilling</i> . (B) Proses pen-tera-an sampel <i>mapping</i> 27
3.8	Pengamatan mikroskopis..... 29

3.9	Proses pembersihan dan sterilisasi <i>sample holder</i> menggunakan alkohol....	30
3.10	Proses peletakan sampel bubuk di atas <i>sample holder</i>	30
3.11	Proses meletakkan sampel ke dalam alat XRD	31
3.12	Diagram alir penelitian	33
4.1	Sampel <i>volcanic basaltic andesite</i> teralterasi lemah diambil pada stasiun BLM 163.....	34
4.2	Sampel <i>volcanic andesitic fragmental</i> dengan fragmen batuan andesit yang diambil pada stasiun BLM040	35
4.3	(A) Kenampakan sampel BLM001 dari batuan VAF. (B dan C) kenampakan petrografis mineral alterasi pada sampel BLM001 melalui pengamatan nikol silang. Keterangan: Chl (klorit), Qtz (kuarsa), Ser (serisit), Opq (opak), Pl (plagioklas), Px (Piroksen).....	37
4.4	(A) Keterdapatan mineral alterasi batuan VAF pada sampel BLM001 berdasarkan hasil analisis ASD. (B) Keterdapatan mineral alterasi batuan VAF pada sampel BLM001 berdasarkan hasil analisis XRD.....	38
4.5	(A) Kenampakan sampel BLM005 dari batuan VAF dengan <i>veinlet</i> kuarsa. (C) Kenampakan tekstur <i>saccharoidal</i> pada sampel BLM005. (B dan D) Kenampakan petrografis mineral alterasi pada sampel BLM005 melalui pengamatan nikol silang. Keterangan: Cal (Kalsit) Qtz (kuarsa), Chl (klorit), Ser (serisit), Opq (opak), Pl (plagioklas), Px (Piroksen)	40
4.6	(A) Keterdapatan mineral alterasi batuan VBA pada sampel BLM005 berdasarkan hasil analisis ASD. (B) Keterdapatan mineral alterasi batuan VBA pada sampel BLM005 berdasarkan hasil analisis XRD	41
4.7	(A) Kenampakan sampel BLM007 dari batuan VBA. (B dan C) Kenampakan petrografis mineral alterasi pada sampel BLM007 melalui pengamatan nikol silang. Keterangan: Qtz (kuarsa), Chl (klorit), Ep (Epidot), Cly (lempung), Opq (opak), Pl (plagioklas), Px (Piroksen).....	42
4.8	(A) Keterdapatan mineral alterasi batuan VBA pada sampel BLM007 berdasarkan hasil analisis ASD. (B) Keterdapatan mineral alterasi batuan pada sampel BLM007 berdasarkan hasil analisis XRD	43
4.9	(A) Kenampakan sampel BLM012 dari batuan VBA yang memperlihatkan fragmen kuarsa. (B dan C) Kenampakan petrografis mineral alterasi pada sampel BLM012 melalui pengamatan nikol silang. Keterangan: Qtz (kuarsa), Opq (opak), Ms (Muskovit).....	45
4.10	(A) Keterdapatan mineral alterasi batuan VBA pada sampel BLM012 berdasarkan hasil analisis ASD. (B) Keterdapatan mineral alterasi batuan VBA pada sampel BLM012 berdasarkan hasil analisis XRD	46

4.11	(A dan C) Kenampakan sampel BLM014 dari batuan VBA. (B dan D) Kenampakan petrografis mineral alterasi pada sampel BLM014 melalui pengamatan nikol silang. Keterangan: Pl (plagioklas), Chl (klorit), Cly (mineral lempung), Ser (serisit)	47
4.12	(A) Keterdapatannya mineral alterasi batuan VBA pada sampel BLM014 berdasarkan hasil analisis ASD. (B) Keterdapatannya mineral alterasi batuan VBA pada sampel BLM014 berdasarkan hasil analisis XRD	48
4.13	(A) Kenampakan sampel BLM019 dari batuan VBA yang memperlihatkan <i>layer</i> sulfida. (B dan C) Kenampakan petrografis mineral alterasi pada sampel BLM019 melalui pengamatan nikol silang. Keterangan: Pl (plagioklas), Chl (klorit), Cly (mineral lempung), Qz (kuarsa), Opq (mial opak)	50
4.14	(A) Keterdapatannya mineral alterasi batuan VBA pada sampel BLM019 berdasarkan hasil analisis ASD. (B) Keterdapatannya mineral alterasi batuan VBA pada sampel BLM019 berdasarkan hasil analisis XRD	51
4.15	(A) Kenampakan sampel BLM028 dari batuan VBA. (B dan C) Kenampakan petrografis mineral alterasi pada sampel BLM028. Keterangan: Pl (plagioklas), Px (piroksen), Chl (klorit), Ep (epidot), Qz (kuarsa), Opq (mial opak)	52
4.16	(A) Keterdapatannya mineral alterasi batuan VBA pada sampel BLM028 berdasarkan hasil analisis ASD. (B) Keterdapatannya mineral alterasi batuan VBA pada sampel BLM028 berdasarkan hasil analisis XRD	53
4.17	(A) Kenampakan sampel BLM037 dari batuan VBA. (B dan C) Kenampakan petrografis mineral alterasi pada sampel BLM037 melalui pengamatan nikol silang. Keterangan: Pl (plagioklas), Px (piroksen), Ms (muskovit), Chl (klorit), Ep (epidot), Qz (kuarsa), Cly (mineral lempung), Opq (mial opak)	55
4.18	(A) Keterdapatannya mineral alterasi batuan VBA pada sampel BLM037 berdasarkan hasil analisis ASD. (B) Keterdapatannya mineral alterasi batuan VBA pada sampel BLM037 berdasarkan hasil analisis XRD	56
4.19	(A) Kenampakan sampel BLM084 batuan VAF. (B dan C) Kenampakan petrografis mineral alterasi pada sampel BLM084 melalui pengamatan nikol silang. Keterangan: Pl (plagioklas), Px (piroksen), Ms (muskovit), Chl (klorit), Ep (epidot), Qz (kuarsa), Cly (mineral lempung), Ser (Serisit)	57
4.20	(A) Keterdapatannya mineral alterasi batuan VAF pada sampel BLM084 berdasarkan hasil analisis ASD. (B) Keterdapatannya mineral alterasi batuan VAF pada sampel BLM084 berdasarkan hasil analisis XRD	58
4.21	(A) Kenampakan sampel BLM092 dari batuan VAF. (B) Kenampakan petrografis mineral alterasi pada sampel BLM092 melalui pengamatan nikol silang. Keterangan: Pl (plagioklas), Ms (muskovit), Chl (klorit), Ep (epidot), Qz (kuarsa), Cly (mineral lempung)	60

4.22	(A) Keterdapatan mineral alterasi batuan VAF pada sampel BLM092 berdasarkan hasil analisis ASD. (B) Keterdapatan mineral alterasi batuan VAF pada sampel BLM092 berdasarkan hasil analisis XRD.....	61
4.23	Estimasi temperatur pembentukan mineralisasi di lokasi penelitian	63
4.24	Kenampakan sampel batuan BLM164 dari batuan VBA pada zona alterasi porpillitik	65
4.25	Kenampakan sampel batuan BLM069 dari batuan VAF pada zona alterasi argillik.....	66
4.26	Kenampakan tekstur mineralisasi. (A) <i>Vein stockwork</i> kuarsa. (B) Diseminasi pirit. (C) Tekstur <i>vuggy</i> dan <i>sulfide banded</i> . (D) Tekstur <i>sachharoidal</i> . (E) Tekstur breksi	67
4.27	Kenampakan mikroskopis himpunan mineral bijih. Keterangan: Py (pirit), Apy (arsenopirit), Ccp (kalkopirit), Cv (kovelit), Sp (sfalerit), Gn (galena)..	68
4.28	Kenampakan asosiasi mineral bijih di bawah mikroskop. Keterangan: Py (pirit), Apy (arsenopirit), Ccp (kalkopirit), Cv (kovelit), Sp (sfalerit), Gn (galena)	70

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
2.1	Perbandingan mineral alterasi yang umum berasosiasi dengan sistem sulfidasi tinggi dan sulfidasi rendah (White <i>and</i> Hedenquist, 1995).....	15
2.2	Frekuensi keterdapatan mineral bijih di dalam sistem sulfidasi tinggi dan sulfidasi rendah (White <i>and</i> Hedenquist, 1995)	16
4.1	Himpunan mineral alterasi.....	62
4.2	Himpunan mineral bijih di lokasi penelitian.....	69
4.3	Paragenesis Mineral Bijih Lokasi Penelitian	72

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A Peta Penelitian.....	77
B Deskripsi Mikroskopis Mineral Alterasi	82
C Deskripsi Mikroskopis Mineral Bijih.....	102
D Difrakogram Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	112
E Data analisis ASD.....	126

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Tambang Tondano Nusajaya (PT. TTN) merupakan perusahaan tambang emas epitermal *low sulphidation* yang berada di Kecamatan Likupang Timur, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara, Indonesia. *Pit* X PT. TTN merupakan salah satu lokasi tambang emas PT. TTN yang telah menghasilkan emas bagi perusahaan. *Pit* ini telah ditambang dengan metode penambangan *open pit*, sehingga batuan bawah permukaan telah tersingkap di area dinding maupun lantai *pit*. Batuan-batuan yang tersingkap pada *pit* merupakan *host rock* urat kuarsa-karbonat yang membawa mineralisasi emas pada *pit* X. Keberadaan urat kuarsa-karbonat tersebut merupakan manifestasi aktifitas hidrotermal yang pernah aktif di area tersebut.

Oleh karena aktifitas hidrotermal tersebut, maka tentunya larutan hidrotermal yang berkembang di area tersebut telah mengendap sebagai urat-urat kuarsa-karbonat pada jalur-jalur lemah di dalam batuan dan akan mengalami reaksi kimia terhadap batuan yang dilaluinya sehingga merubah komposisi mineral batuan yang dilaluinya tersebut yang dikenal sebagai alterasi hidrotermal. Alterasi hidrotermal merupakan suatu proses perubahan yang terjadi pada batuan akibat adanya interaksi antara batuan dengan fluida hidrotermal sehingga terjadi perubahan pada komposisi mineralogi, tekstur, dan komposisi batuan tersebut. Perubahan tersebut tidak hanya terjadi pada batuan tetapi juga pada fluida hidrotermal sebagai upaya fluida untuk mencapai suatu kesetimbangan kimia. Larutan hidrotermal adalah cairan bertemperatur tinggi (100°–500°C) sisa pendinginan magma yang mampu merubah mineral yang telah ada sebelumnya dan membentuk mineral-mineral tertentu. Secara umum cairan sisa

kristalisasi magma tersebut bersifat silika yang kaya alumina, alkali, dan alkali tanah yang mengandung air dan unsur-unsur volatil (Corbett *and* Leach, 1998). Oleh karena itu, PT. TTN berusaha untuk mengidentifikasi himpunan mineral-mineral alterasi hidrotermal secara lebih detail dengan metode yang lebih akurat sehingga menjadi sebuah acuan yang mendukung dalam kegiatan eksplorasi pertambangan selanjutnya.

Beberapa aspek yang belum dilakukan saat ini pada *pit X* PT. TTN di antaranya yaitu mengidentifikasi secara lebih detail himpunan mineral alterasi hidrotermal, membuat peta zonasi alterasi hidrotermal dan paragenesis mineral bijih, khususnya terkait mineralisasi yang terdapat di *pit X* PT. TTN. Selain menyajikan informasi mengenai keterdapatan dan penyebaran mineral-mineral alterasi hidrotermal sesuai zona alterasinya, peta zonasi alterasi hidrotermal juga dapat digunakan sebagai petunjuk menuju ke arah zona mineralisasi utama dalam kegiatan eksplorasi. Oleh karena itu, penulis terdorong untuk melakukan penelitian pada lokasi ini dengan menggunakan data hasil pemetaan geologi permukaan dikombinasikan dengan data pengeboran *Reverse Circulation (RC Drilling)* sehingga dapat diketahui jenis-jenis mineral alterasi apa saja yang berkembang di dalam area *pit X*. Pola dan jenis kumpulan alterasi ini nantinya dapat digunakan oleh PT. Tambang Tondano Nusajaya dan PT. Meares Soputan Mining (perusahaan induk dari PT. TTN) sebagai pendekatan untuk *vectoring* ke arah mineralisasi pada kegiatan eksplorasi di area-area sekitar tambang yang mempunyai kondisi topografi dan geologi yang relatif sama dengan geologi *pit X*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, maka rumusan masalah yang akan diangkat yaitu:

1. Bagaimana penyebaran litologi di lokasi penelitian.
2. Bagaimana himpunan mineral dan zonasi alterasi hidrotermal di lokasi penelitian.

3. Bagaimana temperatur pembentukan mineral alterasi dan pH larutan hidrotermal pembentuk bijih di lokasi penelitian.
4. Bagaimana himpunan dan paragenesis mineral bijih di lokasi penelitian.
5. Bagaimana tipe genetik mineralisasi yang terbentuk di lokasi penelitian.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu:

1. Mengidentifikasi penyebaran litologi di lokasi penelitian.
2. Menentukan himpunan mineral dan zonasi alterasi hidrotermal di lokasi penelitian.
3. Mengestimasi temperatur pembentukan mineral alterasi dan pH larutan hidrotermal pembentuk bijih di lokasi penelitian.
4. Mengidentifikasi himpunan mineral dan paragenesis bijih di daerah penelitian.
5. Menginterpretasi tipe genetik mineralisasi berdasarkan himpunan mineral alterasi dan mineral bijih, temperatur pembentukan mineralisasi serta pH larutan hidrotermal yang membentuknya.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah penulis dapat memahami zonasi alterasi dan himpunan mineral bijih pada endapan Au-Ag epitermal. Selain itu, penelitian ini dapat memberikan manfaat yang berupa data tambahan tentang zonasi alterasi yang berasosiasi dengan endapan Au-Ag epitermal di *pit X* kepada perusahaan PT. Tambang Tondano Nusajaya Sulawesi Utara sebagai pendekatan untuk mengetahui *vector to ore* pada kegiatan eksplorasi di area-area sekitar tambang yang mempunyai kondisi topografi dan geologi yang relatif sama dengan geologi *pit X*.

1.5 Tahapan Penelitian

Kegiatan penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahap awal penelitian berupa pengumpulan berbagai referensi yang diperoleh dari artikel ilmiah, jurnal dan buku terkait penelitian yang akan dilakukan. Referensi yang dikumpulkan kemudian digunakan sebagai acuan dalam melakukan penelitian.

2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah merupakan tahap menentukan masalah-masalah yang akan dijadikan sebagai pembahasan utama penelitian. Masalah yang dirumuskan untuk menjadi pembahasan utama penelitian ini yaitu identifikasi himpunan mineral alterasi hidrotermal dan zonasi alterasinya, estimasi temperatur pembentukan mineralisasi dan pH larutan hidrotermal yang membentuknya.

3. Pengambilan Data

Pengambilan data primer di lapangan untuk penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan pemetaan geologi (*mapping*). Data lapangan yang diambil meliputi koordinat stasiun pengamatan, data kedudukan batuan dan struktur geologi (*strike/dip*), deskripsi batuan dan pengambilan sampel batuan induk yang belum teralterasi ataupun yang sudah teralterasi.

4. Pengolahan Data

Pengolahan data lapangan meliputi *plotting* stasiun dan data singkapan pada peta dasar sesuai titik koordinatnya. Pekerjaan laboratorium meliputi analisis ASD, petrografi, mineragrafi dan XRD untuk mengetahui himpunan mineral alterasi dan mineral bijih. Hasil analisis di laboratorium kemudian digabungkan dengan data lapangan untuk membuat peta zonasi alterasi hidrotermal dan peta sebaran mineral bijih di daerah penelitian.

5. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

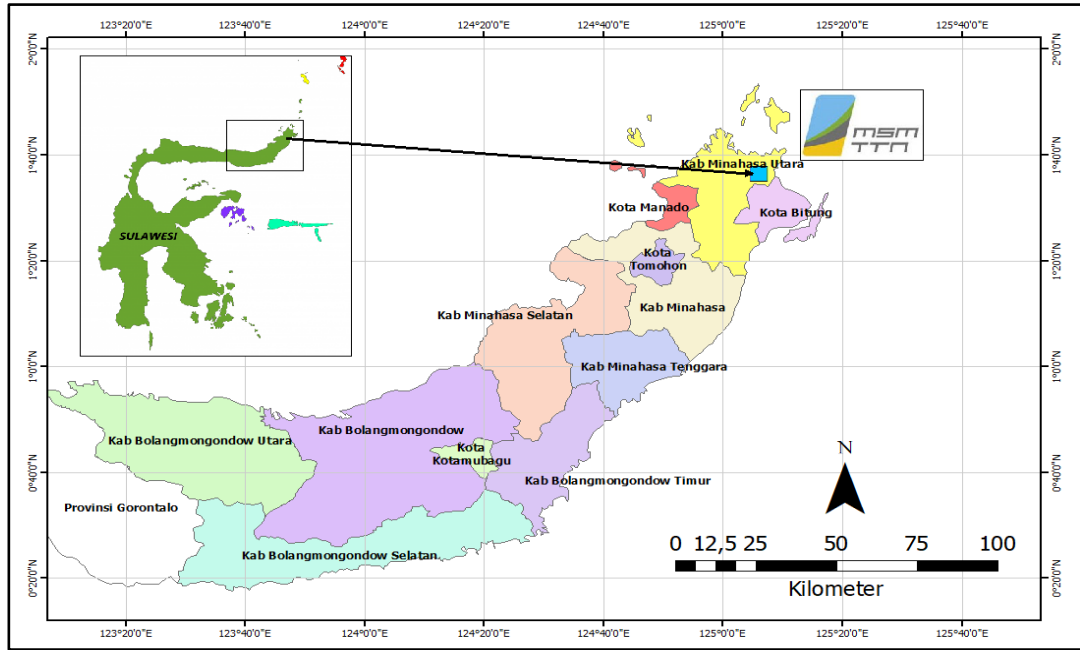
Setelah pengumpulan dan pengolahan data selesai, maka tahap selanjutnya adalah penyusunan laporan. Di akhir penyusunan laporan ini, akan ditarik kesimpulan dari masalah-masalah yang telah dirumuskan sebelumnya berdasarkan hasil dari pengolahan data yang telah dilakukan.

6. Presentasi dan Penyerahan Laporan Tugas Akhir

Laporan tugas akhir yang telah disusun kemudian dipresentasikan di depan pembimbing dan tim penguji dalam seminar hasil dan ujian meja. Laporan tugas akhir yang telah dipresentasikan dalam seminar hasil dan ujian meja serta telah dilakukan perbaikan, selanjutnya diserahkan ke perpustakaan Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin dan perusahaan PT. Tambang Tondano Nusajaya.

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian secara administratif terletak di Kecamatan Likupang Timur, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara tepatnya di PT. Tambang Tondano Nusajaya (Gambar 1.1). Perjalanan menuju lokasi penelitian dari Kota Makassar dapat ditempuh melalui jalur udara ke Kota Manado dengan waktu tempuh sekitar hampir 2 jam, dan selanjutnya ditempuh dengan jalur darat selama 1 jam dari Kota Manado menuju *site*.



Gambar 1.1. Peta tunjuk lokasi penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Berdasarkan struktur litotektonik, Sulawesi dan pulau-pulau sekitarnya dibagi menjadi empat mandala geologi, yaitu Mandala Barat (*West & North Sulawesi Volcano-Plutonic Arc*) sebagai jalur magmatik yang merupakan bagian ujung timur Paparan Sunda, Mandala Tengah (*Central Sulawesi Metamorphic Belt*) berupa batuan malihan yang ditumpangi batuan bancuh sebagai bagian dari blok Australia, Mandala Timur (*East Sulawesi Ophiolite Belt*) berupa ofiolit yang merupakan segmen dari kerak samudera berimbrikasi dan batuan sedimen berumur Trias-Miosen, dan fragmen benua Banggai-Sula-Tukang Besi, kepulauan paling timur dan tenggara Sulawesi yang merupakan pecahan benua yang berpindah ke arah barat karena *strike-slip faults* dari New Guinea (Sompotan, 2012).

2.1.1 Geomorfologi Regional

Menurut Sompotan (2012) daerah penelitian berada pada Mandala Barat bagian utara. Busur Sulawesi Utara mencakup Propinsi Sulawesi Utara dan Gorontalo, memanjang sekitar 500 km dari 121°E – 125°20'E dengan lebar 50-70 km dan memiliki ketinggian lebih dari 2.065 m, di mana ketinggian daerah di sekitar leher pulau Sulawesi mencapai 3.225 m.

Sebagian besar wilayah dataran Sulawesi Utara terdiri dari pegunungan dan bukit-bukit diselingi oleh lembah yang membentuk dataran. Gunung-gunung terletak berantai dengan ketinggian di atas 1.000 meter dari permukaan laut. Beberapa gunung di Sulawesi Utara yaitu, Gunung Klabat (1.895 m), Gunung Lokon (1.579 m), Gunung Mahawu (1.331 m), Gunung Sopotan (1.789 m), Gunung Dua Saudara (1.468 m),

Gunung Awu (1.784 m), Gunung Ruang (1.245 m), Gunung Karangetan (1.320 m), Gunung Dalage (1.165 m), Gunung Ambang (1.689 m), Gunung Gambula (1.954 m), dan Gunung Batu-Balawan (1.970 m) (Sompotan, 2012).

2.1.2 Struktur Geologi Regional

Struktur geologi yang berkembang di daerah Sulawesi adalah sesar-sesar mendatar yang berasosiasi dengan sesar-sesar naik. Pemicu terbentuknya sesar-sesar di Sulawesi adalah gabungan antara mikrokontinen benua Australia dan mikrokontinen Sunda yang terjadi sejak Miosen. Pergerakan dari pecahan lempeng benua Australia tersebut relatif ke arah barat. Adanya sesar utama seperti Sesar Palu-Koro dan Sesar Walanae juga memberikan peranan dalam pembentukan sesar-sesar kecil di sekitarnya. Data dan hasil analisis struktur geologi, seperti pola kelurusan dan arah pergerakan relatif sesar, mengindikasikan bahwa deformasi di daerah Sulawesi dipengaruhi oleh aktivitas sesar mendatar Palu-Koro dan terusan sesar mendatar Walanae (Sompotan, 2012).

2.1.3 Stratigrafi Regional

Secara regional, geologi daerah Kabupaten Minahasa Utara disusun oleh satuan-satuan batuan dengan urutan stratigrafi dari yang berumur tua ke muda, sebagai berikut (Gambar 2.2) :

- a. Tersier Miosen Vulkanik (Tmv) : terutama terdiri dari breksi, lava dan tuff. Aliran lava pada umumnya berkomposisi andesit-basal. Adanya lava dasit (Tmvl) di hulu Sungai Kotabunan telah dilaporkan oleh Kopenberg (1928). Breksi berbutir sangat kasar, berkomposisi andesit, sebagian bersifat konglomerat, mengandung sisipan tufa, batupasir, batulempung dan lensa batugamping. Fosil foram kecil ditemukan dalam sisipan lempung napalan menunjukkan umur Miosen Tengah, Kopenberg (1928) melaporkan adanya retas andesit dalam satuan ini. Di sepanjang pantai daerah antara Molobok dan Nuangan bagian tenggara di antara

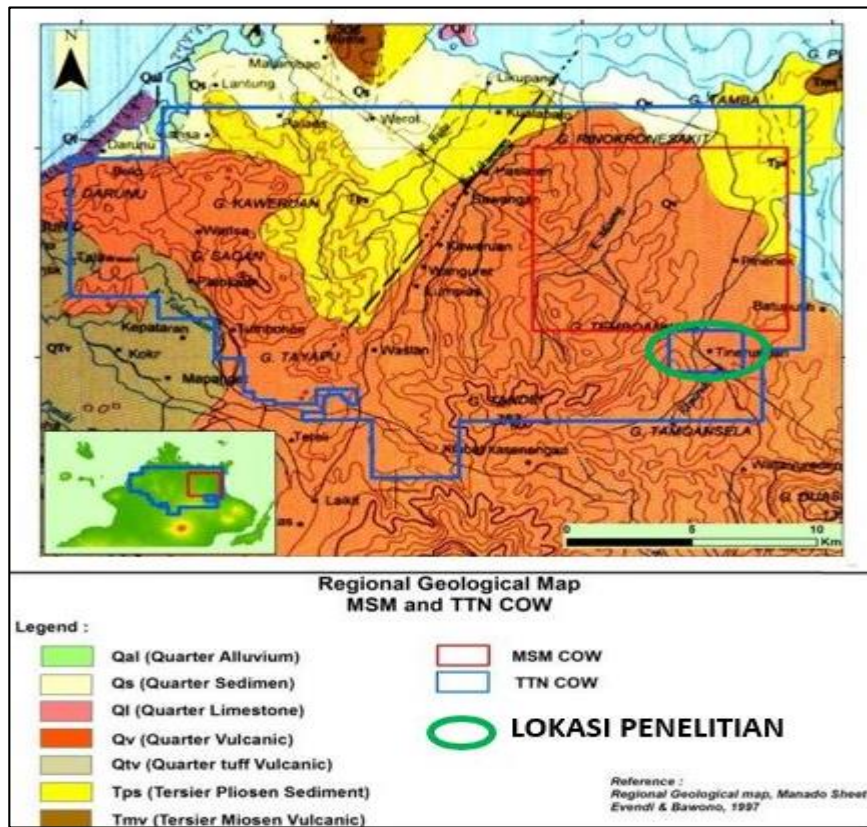
batuan gunungapi ada yang terkarsikan dan mengandung barik-barik kuarsa halus berwarna coklat kemerahan. Mineralisasi Au dan Ag terdapat dalam urat kuarsa di sungai dekat Kepulauan Paslaten. Di Pulau Lembeh satuan ini tersusun dari aliran lava dan breksi berkomposisi andesit sedangkan di Kampung Papusungan telah termineralisasikan dan mengandung mineral pirit. Pulau Lembeh dengan bentuknya yang hampir setengah lingkaran diperkirakan oleh Verbeek (1908) sebagai bagian dari tebing kawah tua umur Miosen Tengah. Lingkungan pengendapan *fluviatil-lacustrine* breksi dan batupasir (Tps), terutama breksi-konglomerat kasar, berselingan dengan batupasir halus hingga kasar, batulanau dan lempung, berumur Pliosen.

- b. Tersier Pliosen Sedimen (TPS) : Terutama breksikonglomerat kasar, berselingan dengan batupasir halus hingga kasar (*greywacke*), batulanau dan batulempung berwarna kelabu kecoklatan. Breksi berkomposisi andesit piroksin terdapat di Pulau Naeng Besar, Pulau Naeng Kecil dan Pulau Talisei (Kopenberg, 1928) di Pulau Bangka terdapat batuan klastika yang sangat lapuk, yang oleh Kopenberg (1928) disebut "batupasir berbesi" menurut Kopenberg (1928) Batuan sedimen ini berumur Pliosen. Lingkungan pengendapan Fluvial.
- c. Kwartir Tufa Vulkanik/Tufa Tondano (Qtv) : Klastika kasar gunungapi yang terutama berkomposisi andesit, tersusun dari komponen menyudut hingga menyudut tanggung, terciirikan oleh banyak pecahan batuapung, batuapung lapilli, breksi, *ignimbrite* sangat padat berstruktur aliran. Satuan ini terdapat disekitar Danau Tondano di bagian utara daerah Minahasa, membentuk punggung yang bergelombang rendah. Aliran lava berkomposisi andesit, trakit, terdapat di daerah Gunung Tanuwantik (QtvI). Tufa bersifat trakitik yang sangat lapuk berwarna putih hingga kelabu kekuningan, terdapat di dekat Kampung Popontelan dan di Sungai Sinengkeian. Di daerah pantai antara Paslaten dan

Sondaken. Satuan ini juga membentuk punggungan bergelombang rendah. Endapan piroklastik ini diperkirakan berasal dari dan terjadi sebagai hasil letusan hebat pada waktu pembentukan Kaldera Tondano. Lingkungan pengendapan subaerial (lingkungan darat). Aluvial (QI), merupakan endapan termuda hasil erosi dan pengendapan yang masih berlangsung sampai sekarang, berupa kerikil, pasir dan lempung.

- d. Batuan Gunungapi Muda (QV) : Lava, bom, lapilli dan abu membentuk gunungapi Strato Muda antara lain Gunung Soputan, Gunung Mahawu, Gunung Locon, Gunung Klabat dan Gunung Tongkoko. Lava yang dikeluarkan oleh Gunung Soputan dan Gunung Lokon terutama berkomposisi basalt, sedangkan Gunung Mahawu dan Gunung Tongkoko berkomposisi andesit, di Kampung Tataaran dan Kampung Kiawa terdapat aliran obsidian, yang mungkin berasal dari Gunung Tomposu dan Gunung Lengkoan. Umurnya diperkirakan *Pliostocen-Recent*.
- e. Kuarter Sedimen/Endapan Danau dan Sungai (QS), terdiri dari pasir, lanau, konglomerat dan lempung napalan. Perselingan lapisan pasir lepas dan lanau, lapisan berangsur, setempat silang siur. Konglomerat tersusun dari pecahan batuan kasar menyudut tanggung, lempung napalan hitam mengandung moluska di Kayuragi (Kopenberg, 1928) mungkin termasuk satuan ini. Satuan ini membentuk undak dengan permukaan bergelombang. Satuan ini berumur Kuarter *Recent*. Lingkungan pengendapan danau/sungai.
- f. Aluvial (QI), merupakan endapan termuda hasil erosi dan pengendapan yang masih berlangsung sampai sekarang, berupa kerikil, pasir dan lempung.

Berdasarkan peta geologi regional Lembar Manado, Sulawesi Utara, Skala 1:250.000 dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung maka daerah penelitian berada pada satuan batuan Gunungapi Muda (QV) seperti pada gambar 2.1 dan gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.1 Peta Geologi Regional daerah penelitian (Sumber: Peta Geologi Lembar Manado, Sulawesi Utara, Sekala 1:250.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung).

BATUAN SEDIMEN DAN ENDAPAN PERMUKAAN <i>SEDIMENT AND SURFICIAL DEPOSITS</i>	BATUAN GUNUNGAPI <i>VOLCANIC ROCKS</i>	UMUR <i>AGE</i>
Qal	Qv	HOLOSEN <i>HOLOCENE</i>
Qs	Qtv	PLISTOSEN <i>PLEISTOCENE</i>
Ql	QtvI	PLIOSEN <i>PLIOCENE</i>
Tps	Tml	MIOSEN <i>MIOCENE</i>
Tms	Tmv	AKHIR LATE
		TENGAH MIDDLE
		AWAL EARLY
		OLIGOSEN <i>OLIGOCENE</i>
		EOSEN <i>EOCENE</i>
		KUARTER <i>QUATERNARY</i>
		TERSIER <i>TERTIARY</i>

Gambar 2.2. Kolom stratigrafi regional daerah penelitian (Sumber: Peta Geologi Lembar Manado, Sulawesi Utara, Sekala 1: 250.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung).

2.2 Geologi Lokal

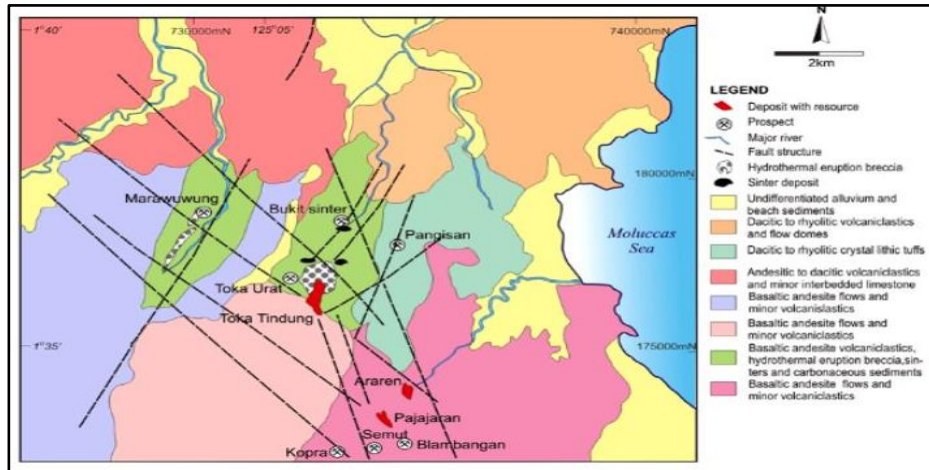
Menurut van Leeuwen (2011), area Toka Tindung terletak di ujung lengan utara Sulawesi dan mencakup area sekitar 400 km². Area ini berisi sejumlah deposit emas dan kejadian di mana deposit Toka Tindung adalah yang terbesar yang diketahui. Daerah Batupangah, yang terletak sekitar 4 km SSE Toka Tindung, berisi empat endapan urat yang signifikan yaitu Araren, Pajajaran, Blambangan, dan Kopra. Endapan tersebut terekspos di jendela-jendela vulkanik Plio-Pleistosen di dalam cakupan luas tefra kuartir akhir dan vulkanik lainnya yang berasal dari letusan relatif baru dari stratovulkano Dua Saudara atau Klabat (Gambar 2.3).

Urutan Plio-Pleistosen sebagian besar terdiri dari aliran andesit basaltik yang mengandung interkalasi batuan vulkaniklastik dengan komposisi mulai dari andesit hingga rhyodasit, dan secara lokal dikaitkan dengan breksi erupsi hidrotermal, silika sinter, dan sedimen tufa karbon. Batuan ini sebagian ditindih oleh vulkaniklastik andesit basaltik dan komposisi rhyodasit yang tidak terkonsolidasi dengan baik, dengan batu kapur kecil berselang-seling yang paling tebal di bagian utara Kabupaten Minahasa Utara. Urutan ini diterobos oleh *dome* dan *dyke-dyke* rhyodasit. Hasil penanggalan usia yang terbatas dan pertimbangan geologis menunjukkan bahwa andesit dan rhyodasit basaltik bersifat kontemporer, yaitu hasil dari magmatisme bimodal (van Leeuwen, 2011).

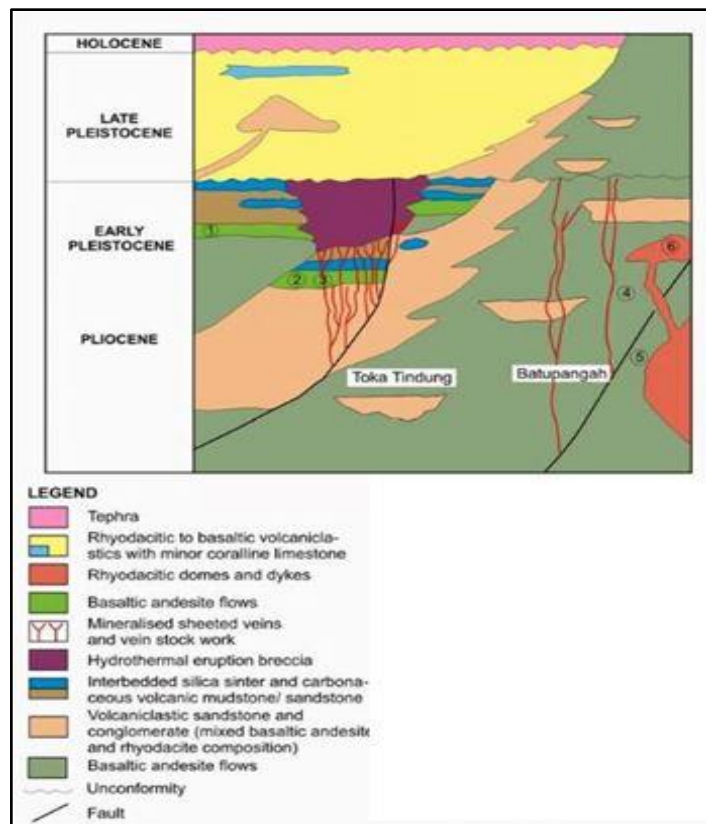
Endapan Toka Tindung dan Batupangah terjadi di jalur struktur selebar 2 km yang ditentukan oleh serangkaian patahan berarah NNW yang memanjang pada panjang *strike* >15 km. Tren struktural terkemuka lainnya di batuan Plio-Pleistosen adalah ENE, NNE dan NW. Mineralisasi emas sebagian besar di-*host* oleh *vein* yang dikontrol oleh *fault*, *stockwork*, dan breksi (van Leeuwen, 2011) (Gambar 2.4).

Sistem *vein* di daerah Batupangah di-*host* di satuan andesit basaltik porfiritik yang ditindih oleh *recent mantle-bedded tefra*, dengan ketebalan hingga 5 m. Deposit emas

utama yang ditemukan sampai saat ini tidak memiliki fitur permukaan dekat yang ada di Toka Tindung, seperti sinters dan breksi hidrotermal, dan ditafsirkan sebagai endapan level yang lebih dalam (van Leuwen, 2011).



Gambar 2.3. Peta Geologi area Toka Tindung yang memperlihatkan prospek tiap lokasi (van Leuwen, 2011).

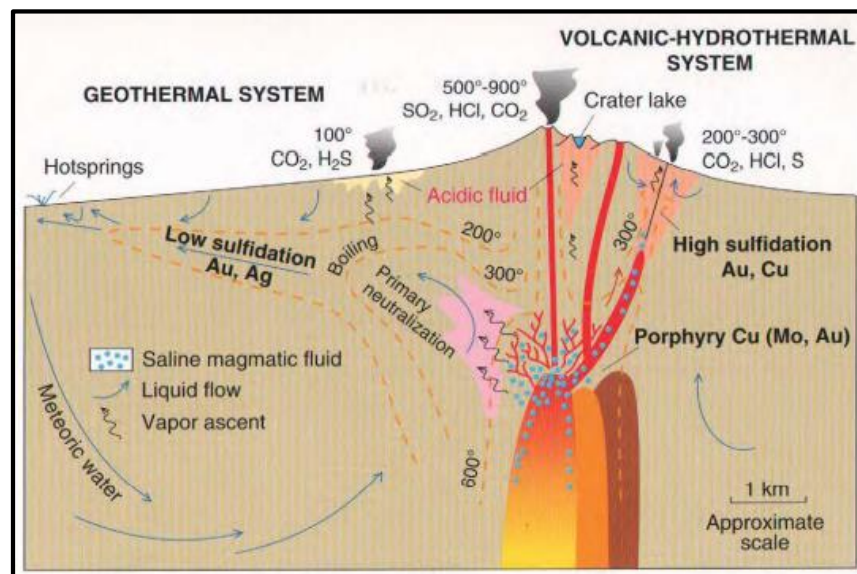


Gambar 2.4. Kolom stratigrafi daerah Batupangah dan Toka Tindung (van Leeuwen, 2011).

2.3 Endapan Epitermal

Endapan epitermal terbentuk di kedalaman dangkal pada sistem hidrotermal bersuhu tinggi yang umumnya berkembang di dalam busur vulkanik. Endapan epitermal merupakan sumber logam dasar dan logam-logam berharga (Simmons *et al.*, 2005). Data hasil studi inklusi fluida menunjukkan bahwa endapan epitermal terbentuk pada kisaran suhu 150°C-300°C dari permukaan sampai kedalaman 1-2km (White *and* Hedenquist, 1995).

Endapan epitermal dibagi menjadi 2 tipe, yaitu tipe sulfidasi tinggi dan tipe sulfidasi rendah. Pembagian ini didasarkan pada kondisi sulfidasi dari kumpulan mineral sulfida yang terbentuk (Hedenquist *et al.*, 2000) (Gambar 2.5).



Gambar 2.5. Skema pembentukan endapan porfiri, epitermal sulfidasi tinggi dan epitermal sulfidasi rendah (Hedenquist *et al.*, 1996).

2.3.1 Epitermal Sulfidasi Tinggi

Endapan sulfidasi tinggi (HS *deposits*) merupakan salah satu dari dua tipe utama endapan epitermal (White *and* Hedenquist, 1995). Endapan sulfidasi tinggi umumnya ditandai dengan hadirnya pirit yang sangat banyak (*pyrite-rich*) dan kumpulan mineral

sulfida lainnya seperti enargit, luzonit, digenit, kalkosit, dan kovelit. Penciri lain dari endapan sulfidasi tinggi adalah terbentuknya tipe alterasi *advanced argillic* yang ditandai oleh kehadiran mineral-mineral alterasi hidrotermal seperti kuarsa, alunite, pirofilit, dan kaolinit/dikit (Arribas, 1995). Tipe alterasi lain yang umumnya berkembang pada endapan sulfidasi tinggi yaitu silisik, argilik, propilitik dan serisitik/filik (Hedenquist *et al.*, 2000). Berikut merupakan tabel perbandingan keterdapatannya mineral-mineral alterasi antara endapan epitermal sulfidasi tinggi dan endapan epitermal sulfidasi rendah (Tabel 2.1).

Tabel 2.1. Perbandingan mineral alterasi yang umum berasosiasi dengan sistem sulfidasi tinggi dan sulfidasi rendah (White and Hedenquist, 1995).

<i>Mineralogy of gangue – frequency of occurrence (abundance)</i>		
	<i>Low-sulphidation</i>	<i>High-sulphidation</i>
<i>Quartz</i>	<i>ubiquitous (abundant)</i>	<i>ubiquitous (abundant)</i>
<i>Chalcedony</i>	<i>common (variable)</i>	<i>common (minor)</i>
<i>Calcite</i>	<i>common (variable)</i>	<i>absent (except as overprint)</i>
<i>Adularia</i>	<i>common (variable)</i>	<i>Absent</i>
<i>Illite</i>	<i>common (abundant)</i>	<i>uncommon (minor)</i>
<i>Kaolinite</i>	<i>rare (except as overprint)</i>	<i>common (minor)</i>
<i>Pyrophyllite-diaspore</i>	<i>absent (except as overprint)</i>	<i>common (variable)</i>
<i>Alunite</i>	<i>absent (except as overprint)</i>	<i>common (minor)</i>
<i>Barite</i>	<i>common (very minor)</i>	<i>common (minor)</i>

2.3.2 Epitermal Sulfidasi Rendah

Endapan sulfidasi rendah (LS *deposits*) umumnya dicirikan dengan tipe mineralisasi berupa *vein* atau *stockwork*. Endapan sulfidasi rendah terbentuk dari temperatur yang rendah dengan pH fluida hidrotermal hampir netral. Tipe alterasi yang umumnya berkembang pada endapan sulfidasi rendah secara berurutan dari luar ke dalam (pusat mineralisasi) yaitu propilitik, argilik dan silisifikasi. Alterasi tipe propilitik umumnya ditandai oleh kehadiran klorit, epidot dan kalsit. Pada tipe argilik, mineral alterasi yang terbentuk meliputi kuarsa, illit, illit/smektit, smektit dan kaolinit. Sedangkan tipe silisifikasi ditandai oleh kuarsa dan silika residu (Hedenquist *et al.*, 1996).

Himpunan mineral bijih yang terdapat pada endapan epitermal sulfidasi rendah cenderung berbeda dengan endapan epitermal sulfidasi tinggi. Hal ini bisa diakibatkan oleh beberapa faktor, salah satu di antaranya adalah komposisi kimia dan tingkat keasaman pada lauratan hidrotermal. Berikut merupakan tabel frekuensi keterdapatannya mineral bijih pada endapan epitermal sulfidasi rendah dan sulfidasi tinggi (Tabel 2.2).

Tabel 2.2. Frekuensi keterdapatannya mineral bijih di dalam sistem sulfidasi tinggi dan sulfidasi rendah (White *and* Hedenquist, 1995).

	<i>Low-sulphidation</i>	<i>High-sulphidation</i>
<i>Pyrite</i>	<i>ubiquitous (abundant)</i>	<i>ubiquitous (abundant)</i>
<i>Sphalerite</i>	<i>common (variable)</i>	<i>common (very minor)</i>
<i>Galena</i>	<i>common (variable)</i>	<i>common (very minor)</i>
<i>Chalcopyrite</i>	<i>common (very minor)</i>	<i>common (minor)</i>
<i>Enargite-Luzonite</i>	<i>rare (very minor)</i>	<i>ubiquitous (variable)</i>
<i>Tennantite-Tetrahedrite</i>	<i>common (very minor)</i>	<i>common (variable)</i>
<i>Covellite</i>	<i>uncommon (very minor)</i>	<i>common (minor)</i>
<i>Stibnite</i>	<i>uncommon (very minor)</i>	<i>rare (very minor)</i>
<i>Orpiment</i>	<i>rare (very minor)</i>	<i>rare (very minor)</i>
<i>Realgar</i>	<i>rare (very minor)</i>	<i>rare (very minor)</i>
<i>Arsenopyrite</i>	<i>common (minor)</i>	<i>rare (very minor)</i>
<i>Cinnabar</i>	<i>uncommon (minor)</i>	<i>rare (very minor)</i>
<i>Electrum</i>	<i>uncommon (variable)</i>	<i>common (minor)</i>
<i>Native Gold</i>	<i>common (very minor)</i>	<i>common (minor)</i>
<i>Tellurides-Selenides</i>	<i>common (very minor)</i>	<i>uncommon (variable)</i>

2.4 Alterasi Hidrotermal

Alterasi hidrotermal merupakan proses yang sangat kompleks meliputi pergantian mineralogi, tekstur dan komposisi kimia hasil dari interaksi cairan panas (fluida hidrotermal) dengan batuan yang dilaluinya di bawah kondisi kimia fisika yang berkembang di dalamnya (Pirajno, 2009). Alterasi umumnya terjadi bersamaan dengan terbentuknya urat-urat atau *gangue* yang mengisi rekahan-rekahan. Jika kenampakan alterasi pada tubuh batuan memiliki pola keteraturan maka dapat dibagi menjadi suatu zona yang disebut zona alterasi hidrotermal. Beberapa faktor yang memengaruhi

pembentukan mineral alterasi dalam sistem hidrotermal yaitu temperatur, sifat kimia larutan hidrotermal, konsentrasi larutan hidrotermal, komposisi batuan sampling, durasi aktivitas hidrotermal dan permeabilitas (Browne, 1978).

Walaupun faktor-faktor yang telah disebutkan sebelumnya saling berkaitan, namun, temperatur dan kimia fluida merupakan dua faktor yang sangat berpengaruh dalam proses alterasi hidrotermal. Suhu mempengaruhi tingkat kristalinitas mineral, suhu yang lebih tinggi mendukung pembentukan mineral kristalin yang lebih banyak. Sebagai contoh, mineral kaolinit dan haloisit yang memiliki struktur kristal tidak beraturan terbentuk pada temperatur di bawah kondisi ruangan, sedangkan mineral kaolinit dan dioksid dengan struktur kristal yang beraturan terbentuk di bawah temperatur hidrotermal yang tinggi atau pada kondisi yang lebih panas (Corbett *and* Leach, 1998).

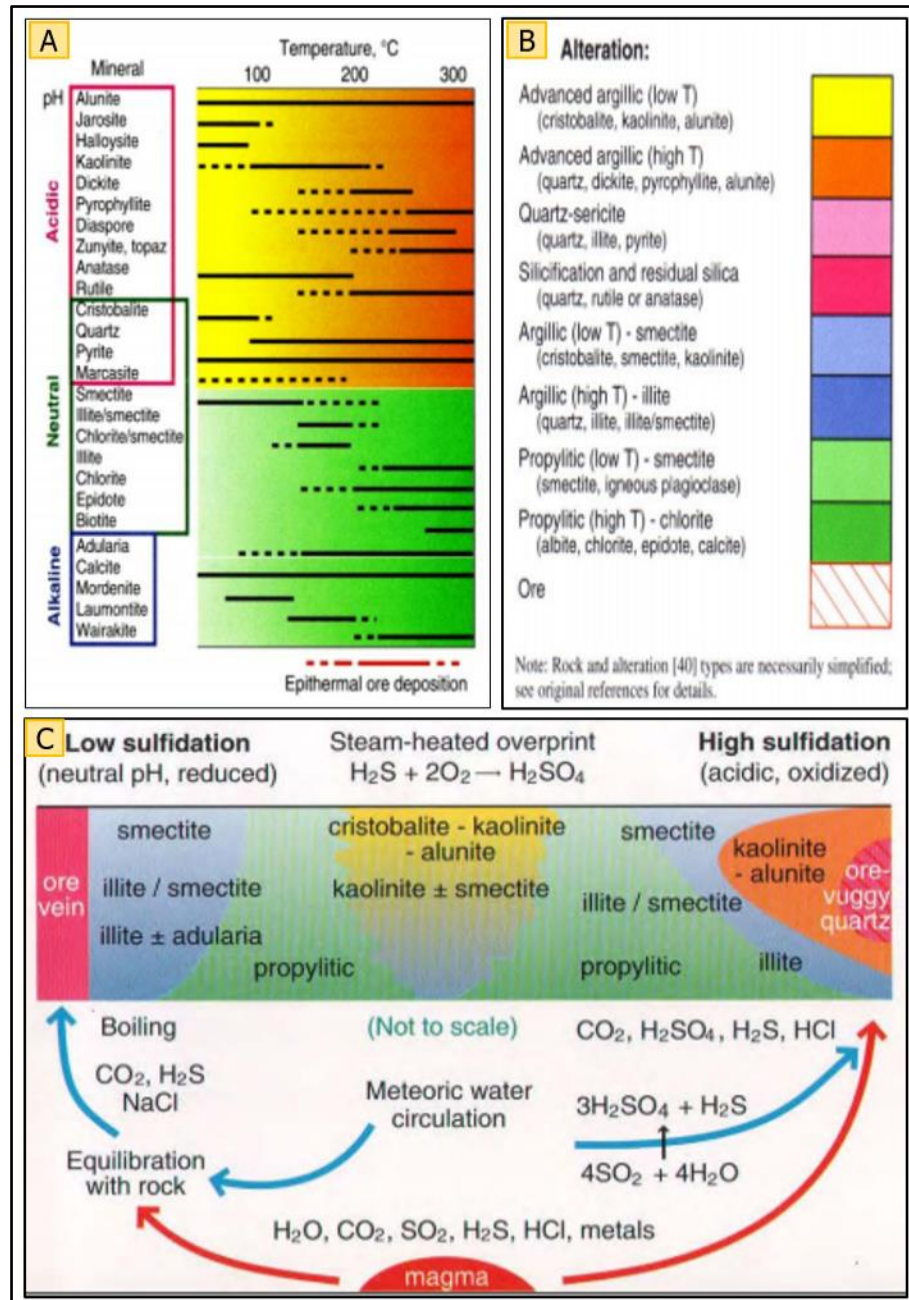
2.4.1 Alterasi dalam Sistem Epitermal

Fase mineral hidrotermal yang berkembang dalam sistem epitermal merupakan fungsi suhu, tekanan, jenis batuan, sifat fluida (seperti pH, aktivitas CO₂, H₂S) dan rasio air/batuan. Alterasi hidrotermal dalam sistem epitermal dapat dilihat dari interaksi fluida asam, fluida klorida hampir netral dan fluida basa. Pengetahuan mengenai himpunan mineral alterasi sangat penting dalam membedakan tipe sistem epitermal sulfidasi rendah, sulfidasi tinggi, sulfidasi intermediet dan basa (Pirajno, 2009).

Banyak mineral alterasi hidrotermal yang stabil pada rentang suhu dan pH di atas rata-rata, sehingga pemetaan distribusi mineral-mineral alterasi dapat digunakan untuk merekonstruksi zonasi termal dan geokimia yang mengarah ke model hidrologi dari sistem hidrotermal yang sudah tidak aktif. Mineral-mineral alterasi juga penting digunakan untuk membedakan suatu endapan termasuk ke dalam jenis sulfidasi rendah atau sulfidasi tinggi (Hedenquist *et al.*, 1996). Stabilitas temperatur mineral-mineral alterasi hidrotermal dapat dilihat pada gambar 2.6A.

Alterasi yang berasosiasi dengan bijih pada endapan sulfidasi rendah dihasilkan oleh fluida panas dengan pH yang hampir netral. Penurunan suhu terjadi seiring dengan menurunnya kedalaman dan meningkatnya jarak dari pusat saluran fluida. Berbeda dengan karakteristik alterasi ber-pH netral pada endapan sulfidasi rendah, endapan sulfidasi tinggi mengandung mineral-mineral yang stabil pada pH asam seperti alunit, kaolinit, dicit, pirofilit, diaspor dan zunit, yang beberapa di antaranya juga sensitif terhadap temperatur. Mineral-mineral tersebut termasuk ke dalam kumpulan alterasi argilik lanjut (*advanced argillic*) yang terbentuk selama proses pelindian awal pada lingkungan sulfidasi tinggi. Batuan yang paling banyak teralterasi asam adalah residu silika yang disebut kuarsa vuggy (*vuggy quartz*) (Hedenquist *et al.*, 1996).

Berdasarkan hasil studi dan penemuan endapan-endapan epitermal di Sirkum Pasifik dan sekitarnya selama beberapa dekade terakhir, saat ini diketahui bahwa endapan dengan tekstur dan kumpulan mineral yang mencirikan lingkungan epitermal mengandung mineral dan inklusi fluida yang merekam temperatur maksimum sekitar 300°C. Sebagian besar di antaranya terbentuk pada kisaran (160-270)°C yang berhubungan dengan kedalaman 50-700 m di bawah muka air tanah purba (Hedenquist *et al.*, 1996). Dari keterangan di atas, maka dibuatlah diagram hubungan antara stabilitas mineral hidrotermal dengan pH dan temperatur pembentukannya serta distribusi skematik alterasi hidrotermal yang berasosiasi dengan endapan epitermal HS dan LS (Gambar 2.6).



Gambar 2.6. (A) Hubungan antara temperatur stabilitas mineral hidrotermal dengan pH. (B) Legenda yang digunakan. (C) Distribusi skematik alterasi hidrotermal yang berasosiasi dengan endapan epitermal LS dan HS (Hedenquist et al., 1996).

2.4.2 Kelompok Mineral Alterasi

Corbett *and* Leach (1998) mengelompokkan mineral-mineral alterasi beserta kondisi lingkungan pembentukannya sebagai berikut:

1. Kelompok mineral silika, terbentuk pada pH rendah (<2) dan umumnya berasosiasi dengan rutil. Pada temperatur $<100^{\circ}\text{C}$ dengan kondisi larutan hidrotermal yang sangat asam, akan terbentuk silika opal, kristobalit dan tridymit. Sedangkan pada temperatur 100°C - 200°C akan terbentuk kalsedon, dan pada suhu yang tinggi ($>200^{\circ}\text{C}$) akan terbentuk mineral silika amorf.
2. Kelompok mineral alunit, terbentuk pada pH >2 bersama mineral silika dengan rentang temperatur yang lebih panjang. Kelompok mineral alunit yang berasosiasi dengan mineral andalusit terbentuk pada temperatur tinggi ($>350^{\circ}\text{C}$ - 400°C) dan kelompok mineral alunit yang berasosiasi dengan mineral korundum terbentuk pada temperatur yang lebih tinggi yaitu di kisaran $>400^{\circ}\text{C}$ - 450°C .
3. Kelompok mineral kaolin, terbentuk dari fluida dengan pH menengah ke bawah (berkisar 4) dengan mineral yang terbentuk pada kedalaman dangkal berupa kaolinit pada suhu rendah ($<150^{\circ}\text{C}$ - 200°C). Pirofilit terbentuk jauh di dalam kerak bumi pada suhu yang lebih tinggi ($<200^{\circ}\text{C}$ - 250°C), dan dikit terbentuk pada daerah transisi dengan kisaran temperatur di antara kedua tingkatan sebelumnya.
4. Kelompok mineral illit, terbentuk pada kondisi pH larutan hidrotermal 4-6. Pada kondisi pH 4-5, kelompok mineral illit akan terbentuk bersama kelompok mineral kaolin tergantung temperatur dan salinitas fluidanya. Mineral smektit terbentuk pada temperatur $<220^{\circ}\text{C}$, mineral illit-smektit yang *inter-layering* terbentuk pada kisaran temperatur 100°C - 200°C , illit pada kisaran 200°C - 250°C , dan muskovit pada temperatur $>250^{\circ}\text{C}$.
5. Kelompok mineral klorit, terbentuk pada kondisi pH sedikit asam sampai hampir netral. Klorit-karbonat menjadi dominan dan dapat hadir bersama kelompok mineral illit pada lingkungan dengan kondisi pH 5-6. Klorit-smektit *interlayered*

terbentuk pada temperatur rendah, kemudian pada temperatur yang lebih tinggi akan berubah menjadi mineral klorit.

6. Kelompok mineral kalsilikat, terbentuk pada kondisi pH netral sampai basa. Pada temperatur rendah, akan terbentuk mineral zeolit-klorit-karbonat, sedangkan pada temperatur yang lebih tinggi akan terbentuk epidot disertai amfibol sekunder (aktinolit). Zeolit merupakan jenis mineral yang sensitif terhadap perubahan temperatur, pada temperatur <math><150^{\circ}\text{C}</math>-200°C akan terbentuk mineral-mineral hidrous zeolit (natrolit, kabazit, mordenit, stilbit, dan heulandit), pada temperatur 150°C-200°C terbentuk mineral laumontit, dan pada temperatur 200°C-300°C terbentuk mineral wairakit yang terbentuk di daerah lebih dalam dan lebih panas dalam sistem hidrotermal. Epidot yang terbentuk pada kisaran temperatur 180°C-220°C akan memiliki bentuk butiran yang buruk, dan akan membentuk butiran mineral yang baik pada temperatur $>220^{\circ}\text{C}$-250°C. Amfibol sekunder (aktinolit) terbentuk stabil dalam sistem hidrotermal aktif pada kisaran temperatur $>280^{\circ}\text{C}$-300°C (Browne, 1978). Dalam sistem yang aktif, biotit sekunder terbentuk pada temperatur $>300^{\circ}\text{C}$- 325°C.
7. Fase mineral lainnya, kelompok ini terdiri atas mineral-mineral karbonat yang terbentuk pada rentang temperatur pembentukan dan pH fluida hidrotermal yang lebih panjang, serta berasosiasi dengan kaolin, illit, klorit dan kalsilikat.